

# Istraživanje sastava i svojstava srednjovjekovne žbuke u crkvi sv. Marije kod Lokve te komparativna ispitivanja komercijalnih materijala za injektiranje

**Bastian Hacker**  
**Neva Pološki**

Bastian Hacker  
Schwarzer Weg 6, 18196 Kavelstorf,  
Deutschland  
[bastian-restauro@gmx.de](mailto:bastian-restauro@gmx.de)

Neva Pološki  
Akademija likovnih umjetnosti Sveučilišta u  
Zagrebu  
Odsjek za konzerviranje i  
restauriranje umjetnina  
[npoloski@yahoo.com](mailto:npoloski@yahoo.com)

Prethodno priopćenje/  
Preliminary communication  
Primljen/Received: 28. 4. 2016.

UDK  
75.052.025.3/.4(497.5 Gologorica):666.91“653”  
DOI:  
<http://dx.doi.org/10.17018/portal.2016.5>

**SAŽETAK:** U crkvi sv. Marije kod Lokve u istarskome gradiću Gologorici nalazi se zidna slika s kraja 14. stoljeća koja prikazuje scenu *Poklonstvo kraljeva*. Godine 2008. i 2009., imajući u vidu oštećenost oslika koja zahtijeva žurnu provedbu zaštitnih mjera, izvedena su sustavna istraživanja<sup>1</sup> zidne slike u svrhu iznalaženja prihvatljive konzervatorsko-restauratorske koncepcije. Posebna pozornost posvećena je laboratorijskim istraživanjima sastava i svojstava srednjovjekovne žbuke (moke kemijske analize, analize tankih presjeka polarizacijskim mikroskopom i metodom SEM/EDX, mjerenja maksimalnoga kapaciteta upijanja vode, raspodjele radijusa pora te dinamičkoga modula elastičnosti) koja potvrđuju da je riječ o višeslojnoj (*arriccio* i *intonaco*) vapnenoj žbuci s agregatom na bazi kalcita, odnosno agregatom povezanim kalcitom specifičnih svojstava, kao što su mala gustoća i visok udio finih pora. U svrhu odabira pogodnoga materijala za zaštitne radove, prije svega ispunjavanje šupljina, također su izmjerene vrijednosti statičkoga modula elastičnosti i biaksijano savojno-vlačne čvrstoće izvornog *arriccia* te uspoređene s odgovarajućim vrijednostima danas uobičajenih, komercijalnih materijala za injektiranje. Materijali odabrani na temelju rezultata istraživanja primijenjeni su 2009. godine na jednoj testnoj osi zidne slike. Slijedeći uspostavljenju metodologiju, radovi u crkvi sv. Marije kod Lokve provode se od 2013. godine u sklopu restauratorske prakse studenata Odsjeka za konzerviranje i restauriranje umjetnina Akademije likovnih umjetnosti Sveučilišta u Zagrebu.

**KIJUČNE RIJEČI:** *Gologorica, crkva sv. Marije kod Lokve, zidna slika, 14./15. st., vapnena žbuka, kalcitni agregat, šupljine, materijali za injektiranje*

**C**rkva sv. Marije kod Lokve smještena je na brežuljku nedaleko od istarskoga gradića Gologorice, u blizini grada Pazina. Riječ je o ispravno orijentiranoj jednobrodnoj građevini, dužine približno 7 m i širine 5 m (**sl. 1**). Tipološki pripada skupini romaničkih crkava s upisanom apsidom te se u literaturi smješta u razdoblje romanike.<sup>2</sup> U unutrašnjosti, na sjevernom zidu, nalazi se fragmentarno očuvana zidna slika s prikazom *Poklonstva kraljeva*, datirana u prijelaz iz 14. u 15. stoljeće (**sl. 2**). Oko 1651. godine izvedena je znatna pregradnja crkve. Uklonjena je upisana apsida, čiji su oslikani osta-

ci pronađeni iza baroknoga oltara,<sup>3</sup> a dobiven građevni materijal upotrijebljen je za podizanje razine poda. Zbog rušenja apsida, zidni oslik na sjevernom zidu, koji počinje na doticaju sa zapadnim, danas završava približno 1,5 m od začelnoga zida.<sup>4</sup> Po svemu sudeći, crkva je prvotno sezala 5 m u dužinu do konstrukcije apsida te 5 m u širinu. Nakon tih prvih preinaka slijedile su daljnje izmjene na građevini, od 18. do 20. stoljeća (dogradnja lođe, dožbukavanje zidova itd.).

Prema kazivanjima svjedoka, zidnu sliku sakrivenu pod slojevima vapnenih premaza i žbuka otkrio je B. Fu-



1. Gologorica, crkva sv. Marije kod Lokve, pogled sa sjeverozapada (snimila N. Vasić, 2008.)  
Gologorica, church of St. Mary at the Pond, view from northwest (photo by N. Vasić, 2008)

čić potkraj pedesetih godina 20. stoljeća. U svojem radu *Glagoljski natpisi* opisuje i prevodi glagoljske natpise od kojih 16 potječe sa zidne slike iz crkve sv. Marije kod Lokve. O samoj slici piše: „Zidne su slike nastale oko 1400. godine. Sačuvane su samo one na sjevernom zidu s prikazom Poklonstva kraljeva.“<sup>5</sup> Godine 2009. otkriven je još jedan, u žbuku urezan tekst na glagoljici (sl. 3) koji glasi: „pop Anton iz Rijeke 1416“. Riječ je o najstarijem pronađenom zapisu kojim je potvrđena Fučićeva datacija. Natpisi na slici također navode na pretpostavku da je oslik bio vidljiv sve do 17. stoljeća.

Zidna slika širine oko 5 m pruža se od poda do visine od približno 2,2 m. Na lijevoj strani kompozicije prikazana je Bogorodica s malim Isusom, a lijevo iza nje sv. Josip (sl. 4). Ostali sudionici povorke kreću se od oltara prema izlazu iz crkve, suprotno kretanju promatrača.<sup>6</sup> Iznad Marije i Isusa prikazana je staja, a ispred nje vol i magarac. Ondje se naziru crvene zrake zvijezde repatice te zdesna grad Betlehem. Ispred Bogorodice kleči najstariji kralj, iza kojega stoji sluga. U smjeru desne strane nižu se fragmentarno očuvan lik drugoga kralja, treći kralj mladenačkog izgleda, sluga s frigijskom kapom, konj i deva te dva lika nejasnih pokreta. Na desnom kraju scene nalaze se jeruzalemske zidine, od kojih pohod počinje. Jednostavna bordura s medaljonima ukrašenima geometrijskim šabloniranjem nekoć je uokviravala cijelu kompoziciju, a danas se razabire samo na lijevoj strani slike. Posebnost oslika je način oblikovanja aureola Sve-te obitelji, jedinstven na području Istre. Bijela podloga obrubljena tankom crnom linijom ukrašena je sivkastim, paučinstim uzorkom na kojem se nalaze zelene, na rubovima istočkane „zrake“.

### Tehnologija izvedbe zidne slike

Za gradnju zidova debljine 70 cm upotrijebljen je lomljeni kamen vapnenačkog pješčenjaka i/ili pješčenjačkog

vapnenca. Taj je građevni materijal razmjerno široko rasprostranjen u unutrašnjosti Istre i stoga često korišten u graditeljstvu. Žbuka upotrijebljena za zidanje, odnosno žbuka spojnica, sadrži sivi i smeđi agregat granulacije do 1 cm. Kamenu je zid najvećim dijelom prevučen slojem *arriccio* debljine oko 1,5 cm koji je mjestimično preličen vapnenim mlijekom. U vrijeme gradnje građevine bilo je uobičajeno nakon dovršetka građevinskih radova crkvu ukasiti posvetnim križevima te je pripremiti za svečanost posvećenja. Tek bi se nakon toga na *arriccio* nanosio površinski sloj žbuke, odnosno *intonaco*, nakon čega bi majstori slikari počeli sa slikanjem. To je bio slučaj i sa crkvom sv. Marije kod Lokve, o čemu svjedoče ostaci crvenih posvetnih križeva na *arriccio*, vidljivi na mjestima na kojima *intonaco* nedostaje. Na *intonaco* debljine 0,5 cm vidljivi su tragovi zaravnavanja gladilicom ili nekim drugim alatom. Na temelju rezultata analize koja je pokazala razmjerno mali udio velikih pora može se zaključiti da je žbuka prilikom aplikacije snažno pritisnuta.

U području bordure i Josipova štapa naziru se utisnute bezbojne linije nastale ispućavanjem napetog konopa na svježoj *intonaco* koje su služile kao orijentacija pri postavljanju kompozicije. Na *intonaco* je nanesen tonirani vapneni premaz s organskim dodacima. On je poslužio kao homogena podloga za oslikavanje koja je dodatno zapunjavala pore *intonaco* i osiguravala potrebnu glatkoću. U boji varira od svijetle žute do sive, a glavni elementi kompozicije na podlozi su izvedeni crvenom, žutom i zelenom bojom. Vezivo slikanih slojeva nanesenih na vapneni premaz također je kalcijev karbonat s organskim dodacima (proteini).<sup>7</sup> Na temelju njihova pretežito lazurnog karaktera pretpostavlja se da je riječ o vapnenom kazeinatu. Na mikropresjecima se razabire jasna granica između vapnenoga premaza i slikanih slojeva, što upućuje na *secco* tehniku. Slikani su slojevi nanesenih dijelom lazurno, dijelom pastozno. Konture i crteži lica, udova i različitih detalja izvedeni su snažnom crvenom linijom, dok je za ravne linije zraka zvijezde repatice korišten napeti konop umočen u crvenu boju, o čemu svjedoče tragovi prskanja na *intonaco*. Modeliranje i iscrtavanje lica i tijela likova te stilizacija odjeće izvedeni su tankim i preciznim linijama, a efekt mekoga svjetla na licima postignut je primjenom svijetlocrvenih, lazurnih tonova. Pri izradi zidne slike korišteni su pigmenti: cinober, crveni željezov oksid, žuti oker, zelena zemlja, biljna crna i kalcijev karbonat.<sup>8</sup>

### Opis i procjena oštećenja zidne slike

#### PUKOTINE

Kamenu zid je prošaran statičkim pukotinama dubine do 30 cm. Zidnu sliku presijecaju na području velike, cementne žbukane nadoknade (kraj 20. st.) u središnjem dijelu kompozicije, na području prikaza sv. Josipa te jeruzalemskih zidina. Ondje je žbuka spojnica oslabljena kohezije i



2. Zidna slika na sjevernom zidu s prikazom *Poklonstva kraljeva*, zatečeno stanje (snimila N. Vasić, 2008.)  
 Wall painting on the north wall depicting *The Adoration of the Magi*, state of conservation (photo by N. Vasić, 2008)

adhezije, a okolni *arriccio* i *intonaco* nedostaju. Stepnasta, kosa linija pružanja pukotina koja slijedi spojnice, tipična je za pukotine nastale zbog slijeganja tla.<sup>9</sup>

### ŠUPLJINE

Šupljine su prisutne na cijelom području zidne slike i bitan su uzrok njezina propadanja. Identificirano ih je nekoliko vrsta, različitih karakteristika. Jedno vrlo osjetljivo područje nalazilo se na lijevom dijelu zidne slike, kod prikaza sv. Josipa. Zbog delaminacije *arriccio* od nosača, nastale su šupljine dubine do 1,5 cm (sl. 5). Dodatno odvajanje od nosača uzrokovalo je djelomično pucanje *arriccio* i *intonaco* (sl. 6), koji su se sačuvali zbog međusobnog mehaničkog zakljinjenja. Adhezija između dva žbukana sloja na tom je području uglavnom očuvana, no kod strukturnih oštećenja žbuke vidljivo je njihovo parcijalno odvajanje. Šupljine koje ne ugrožavaju zidnu sliku i gdje oštećenja nisu vidljiva, lokalizirane su perkusijskim testom, a one, poput opisanih, koje ju ugrožavaju vjerojatno su najvećim dijelom posljedica pomicanja tla jer je do odvajanja slojeva žbuke od nosača došlo prije svega u blizini statičkih pukotina.

### STRUKTURNA OŠTEĆENJA ŽBUKE

Na općenito dobro očuvanoj žbuci vide se različiti oblici strukturnih oštećenja. Do visine od oko 1 m (danas područje sokla) razabiru se brojne žbukane nadoknade koje ukazuju na to da je ta zona u prošlosti, kao i danas, bila izložena raznim štetnim utjecajima, ponajprije prodoru

vlage. Površina *intonaco*, u pravilu homogena i zaglađena, tu je hrapava te djeluje kao da je agregat s vremenom ispran što je vjerojatno posljedica maloga udjela agregata sastavljenog od filosilikata koji u dodiru s vodom bubre, dok se tijekom sušenja skupljaju.<sup>10</sup> Na tom području *intonaco* se također djelomično odvajaju od *arriccio*, što pospješuje nastajanje šupljina.

Velika kolebanja vlažnosti zraka u crkvi<sup>11</sup> pospješila su otapanje i kristalizaciju štetnih soli, a hidratacijski i kristalizacijski tlakovi pridonijeli su razaranju strukture žbuke. Rezultati ispitivanja udjela soli<sup>12</sup> pokazali su djelomično povišene koncentracije nitrata i klorida za koje je svojstveno da se šire kapilarnom vlagom iz tla.<sup>13</sup> Oborinske vode također imaju značajnu ulogu u propadanju zidne slike. Jedan od razloga pojačanog prodora vlage je jednaka razina tla na sjevernoj strani građevine i poda u unutrašnjosti crkve (zaštita od oborinskih voda sustavom žljebova i drenaže nije provedena). Budući da crkveni temelji nisu izolirani, porast razine podzemnih voda, uočen promatranjem obližnjeg bunara, isto tako pospješuje kapilarni uzlaz vlage. Visina uzlaza kapilarne vlage u zidu ovisna je o upijenoj količini vode, veličini pora u materijalu zida, dostupnosti vode, količini soli, veličini zone isparavanja, presjeku zida<sup>14</sup> te brzini isparavanja. Kod širokih je zidova, poput ovoga, visina do koje se kapilarna vlaga penje veća. Tome uvelike pridonosi cementna žbuka koja sprječava isparavanje, a kojom su prevučeni vanjski zidovi crkve.

Među strukturna oštećenja ubraja se i gubitak *arriccio* i/ili *intonaco* zbog opsežnih natučenja kojima se nasto-





3. Glagoljski natpis „pop Anton iz Rijeke 1416“ (snimio B. Hacker, 2009.)  
Glagolitic inscription “father Anton from Rijeka 1416” (photo by B. Hacker, 2009)



4. Detalj zidne slike s prikazom sv. Josipa, Marije i malog Isusa (snimio B. Hacker, 2009.)  
Detail of the wall painting depicting St. Joseph, Mary and child Jesus (photo by B. Hacker, 2009)

jalo poboljšati prijanjanje novih slojeva žbuke. Udaranje čekićem po površini zidne slike uzrokovalo je također međusobno odvajanje žbukanih slojeva te nastanak šupljina (sl. 7).

#### OŠTEĆENJA SLIKANIH SLOJEVA

Osim opisanih oštećenja, srednjovjekovni slikani slojevi su u vrlo dobrom stanju. Adhezija između vapnenog premaza i žbuke te gornjih slikanih slojeva u velikoj je mjeri očuvana. Glavni uzrok gubitka slikanih slojeva su oštećenja nastala pri otkrivanju slike, najvjerojatnije pedesetih godina 20. stoljeća. Na primjer, postupak otkrivanja slijedio je liniju Marijine zelene haljine, pri čemu je zbog pogrešne prosudbe uklonjen dio aureole maloga Isusa, pastozno nanese preko haljine (sl. 8).

Na lijevoj strani kompozicije slika je djelomično izbljedjela ili pak slikani slojevi potpuno nedostaju. Pretpostavlja se da su uzroci oštećenja povećan prodor vlage zbog smještaja u kutu, već opisani problem s vlagom u području sokla, pojačano ultraljubičasto zračenje te velike temperaturne razlike na slikanim slojevima zbog insulacije. Naime, u neposrednoj blizini nalazi se neostakljeni prozor i slika je izložena izravnom sunčevu svjetlu. Na površini slike nalaze se mjestimično slojevi ili kapljice različitih, uglavnom vapnenih premaza i žbuka te prljavština. Dokazana je kolonizacija gljivica i bakterija. Identificirana je ružičasta bakterija *roseobacter* koja se obično susreće na slikanim slojevima s vapnenim vezivom s niskim udjelom organskih dodataka.<sup>15</sup>

#### Laboratorijska istraživanja

Za analizu materijala i tehnologije izrade zidne slike te kao osnova za razvoj prihvatljive konzervatorsko-restauratorske koncepcije, proveden je niz laboratorijskih istraživanja. Na pripremljenim uzorcima izvorne žbuke

(uzorak iz fragmenata pronađenih u građevinskome materijalu u podu crkve koji sadržava oba žbukana sloja, potom dodatni uzorak žbuke *arriccio* te uzorak žbuke iz spojnica na mjestima oštećenja zidne slike gdje ostali slojevi nisu sačuvani) izvedene su mokre kemijske analize žbuka,<sup>16</sup> kao i analize tankih presjeka.

Mokre kemijske analize žbuka pokazale su velik udio sastojaka topljivih u kloridnoj kiselini (90,89 m % - 93,34 m %), što upućuje na kalcitni sastav agregata. Poznato je da je postotak pogreške u analizi glinovitih i vapnenastih materijala tom metodom razmjerno visok.<sup>17</sup> Za točnije podatke o višeslojnoj žbuci zidne slike, tj. omjeru veziva i agregata te sastavu i svojstvima agregata, provedena su dodatna istraživanja, npr. analize tankih presjeka, snimanje pretražnim elektronskim mikroskopom (SEM) i dr.

Dodatne informacije o vezivu, omjeru veziva i agregata te vrsti agregata dobivene su analizom triju tankih presjeka polarizacijskim mikroskopom.<sup>18</sup> Tanki presjeci sadržavali su *arriccio*, *intonaco* te slikani sloj. Utvrđeno je da je u analiziranim žbukama prisutan mramorni agregat, granulacije do 1 mm (sl. 9). Vjerojatno je riječ o rekristaliziranom kalcitu koji potječe iz istarskih kamenoloma, a koji se od mramora gotovo i ne razlikuje. Također je ustanovljeno da je u analiziranim žbukama korišten i vapnenački agregat granulacije do 2 mm (na fotografiji tankog presjeka vidi se vapnenac s fosilima, (sl. 10), te koralj, čije se stanice jasno razabiru, (sl. 11) i vapnenački pješčenjak (sl. 12), odnosno vapnenac u kojem su vapnene i kvarcne naslage vezane kalcitom, a njegova je granulacija do 2 mm. U matrici zrna djelomično se razabiru duguljaste niti minerala muskovita te glaukonit.

Omjer veziva i agregata izračunat je brojenjem zastupljenosti agregata, pora i veziva (sl. 13). U tu su svrhu izmjerena i analizirana po tri reprezentativna područja *arriccio* na tri pripremljena tanka presjeka. Utvrđen je



5. Šupljina, odvajanje *arriccio* od nosača (snimio B. Hacker, 2009.)  
*A cavity, arriccio detaching from the support (photo by B. Hacker, 2009)*



6. Pucanje *arriccio* i *intonaco* odvojenih od nosača (snimio B. Hacker, 2009.)  
*The cracking of arriccio and intonaco detached from the support (photo by B. Hacker, 2009)*

omjer 5,5 vol. udjela veziva naprama 1 vol. udjelu agregata. Ta razmjerno visoka vrijednost udjela veziva dobivena je zbog toga što je u proračunu zanemaren udio finih pora. Mjerenjima maksimalnog kapaciteta upijanja vode dobivena je vrijednost od oko 35 %. Kad se uvažio na taj način dobiven udio finih pora, omjer veziva i agregata smanjio se na 2 : 1.<sup>19</sup>

#### ISTRAŽIVANJE PRETRAŽNIM ELEKTRONSKIM MIKROSKOPOM (SEM) I ENERGOISPERSIVNIM DETEKTOROM RENDGENSKIH ZRAKA (EDX)<sup>20</sup>

Elektronskim se mikroskopom mogu snimiti snimke mikroskopskih područja uzorka žbuke vrlo visoke dubinske rezolucije. Međutim, za ispitivanje žbuke važnija je elementna analiza materijala. Metodom SEM/EDX može se istražiti samo vrlo mali dio ( $< 5 \text{ mm}^3$ ) uzorka žbuke<sup>21</sup> pa se dobiveni nalazi mogu interpretirati samo kao trendovi. Kako bi se mogao donijeti valjani zaključak, provedena su dva mjerenja. Slijedi opis mjerenja na jednom uzorku žbuke *arriccio*, pri čemu je obuhvaćena samo strana okrenuta prema detektoru. **Slika 14** prikazuje raspodjelu elemenata u uzorku dobivenu metodom SEM/EDX, a iz EDX spektra vidljivi su identificirani elementi: kalcij, silicij, aluminij, magnezij, željezo, kalij i niobij u obliku oksida (**sl. 15**).<sup>22</sup> Element niobij upućuje na specifičnu provenijenciju sirovine, odnosno na specifičan kamenolom. Rezultati istraživanja potvrdili su da je ispitivana srednjovjekovna žbuka po sastavu vapnena.<sup>23</sup>

#### MJERENJE DINAMIČKOGA MODULA ELASTIČNOSTI<sup>24</sup>

Kako se poznavanje fizikalnih svojstava višeslojne žbuke zidne slike smatralo nužnim za planiranje zaštitnih radova, određen je dinamički modul elastičnosti žbuke *arriccio*. Dinamički modul elastičnosti definira se kao otpornost na deformaciju prilikom naprezanja, a njegove su vrijednosti

u pravilu više od vrijednosti statičkog modula elastičnosti.<sup>25</sup> Modul elastičnosti zamjenskih materijala koji se upotrebljavaju za sanaciju objekta u pravilu bi trebao biti manji od modula elastičnosti izvornih materijala. Analiza koju je osmislio i proveo Wolfram Köhler<sup>26</sup> omogućila je određivanje dinamičkoga modula elastičnosti srednjovjekovne žbuke nedestruktivnom metodom. Metoda se temelji na mjerenju rezonantne frekvencije pri širenju tzv. kvazilongitudinalnog vala<sup>27</sup> kroz uzorak, koja je funkcija modula elastičnosti. Preciznost pojedinačnih mjerenja bila je ograničena zbog nehomogenosti materijala. Općenito, za pouzdan je zaključak o stanju žbuka i mortova te za relevantnost rezultata potrebno provesti statistički velik broj mjerenja.<sup>28</sup> Stoga su mjerenja provedena na četiri fragmenta žbuke. Uzorci su prethodno izmjereni i izvagani, potom slobodno postavljeni između odašiljača i



7. Oštećenja žbukanih i slikanih slojeva uzrokovana čekićem (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Damages of the plaster and paint layers inflicted with a hammer (photo by B. Hacker, 2009)*





8. Djelomičan gubitak pastozno naslikane aureole malog Isusa (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Partial loss of the thickly painted halo of child Jesus (photo by B. Hacker, 2009)*

primatelja impulsa, a zatim su širokopojasnim impulsnim valom potaknuti na kvazilongitudinalno titranje. Dobivene vrijednosti dinamičkoga modula elastičnosti kretale su se između 1,76 i 2,89 kN/mm<sup>2</sup>, a dijelom čak i više.

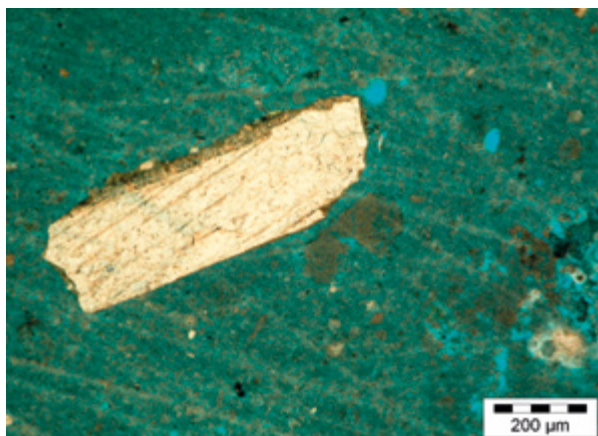
#### ISPITIVANJE MAKSIMALNOG KAPACITETA UPIJANJA VODE I RASPODJELE RADIJUSA PORA<sup>29</sup>

U ovom su poglavlju izneseni rezultati ispitivanja veličine pora u tri uzorka žbuke *arriccia*. Analizom tankih presjeka utvrđen je vrlo mali broj velikih pora (>10 µm). Prilikom određivanja dinamičkoga modula elastičnosti utvrđena je mala gustoća analiziranih uzoraka žbuke *arriccia*. To ukazuje na veći udio finih pora koje znatno utječu na svojstva žbuke, primjerice gustoću i težinu, čvrstoću i kapacitet kapilarnog upijanja vode. Ispitivanjem je, kako je već navedeno, također povećana točnost proračuna udjela veziva u sastavu žbuke, odnosno točnije je procijenjen omjer veziva i agregata. Naime, u svim trima uzorcima utvrđen je velik maksimalni kapacitet upijanja vode i posljedično velik ukupan volumen pora. Nadalje, rezultati Hg-porozimetrije pokazali su da su pore velikim dijelom manje od 3 µm. Pore takve veličine praktički se ne vide pod svjetlosnim mikroskopom, dok teorijski uočljive pore veličine od 10 do 500 µm na tankim presjecima gotovo uopće nisu uočene. Rezultati ispitivanja

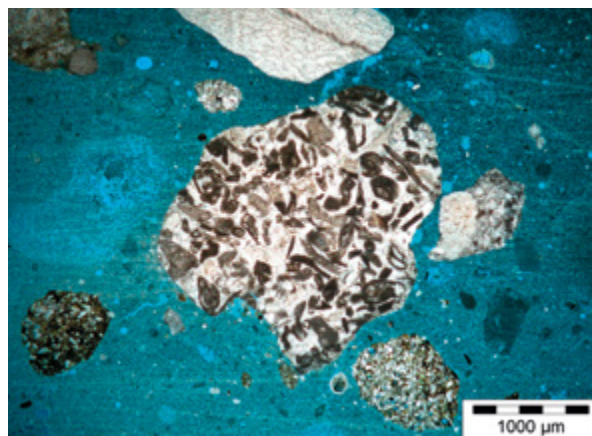
(maksimalni kapacitet upijanja vode 31 % - 36 %) pokazali su da srednjovjekovna žbuka ima veći volumen pora nego opeka (maksimalni kapacitet upijanja vode 20 % - 25 %).<sup>30</sup> Budući da volumen pora znatno utječe na kapacitet upijanja i otpuštanja vode,<sup>31</sup> valja ga imati na umu pri planiranju zaštitnih mjera. U praksi se pokazalo da je uzlaz vode u materijalima s finim porama općenito mali jer brzina uzlaza vode proporcionalno opada sa smanjenjem promjera pora, što znači da voda time brže isparava nego što se upija.<sup>32</sup> No to je točno samo ako na površini nema naknadnih slojeva (žbuke, premaza) koji smanjuju isparavanje. Stoga pri pripremi nadomjesne žbuke treba uzeti u obzir velik udio finih pora u srednjovjekovnoj žbuci, njezin kapacitet upijanja i otpuštanja vode te težinu. Te nalaze valja promatrati u kontekstu vlage u objektu jer vanjska cementna žbuka sprječava isparavanje i pospješuje kapilarni uzlaz vlage.<sup>33</sup>

#### ZAKLJUČAK

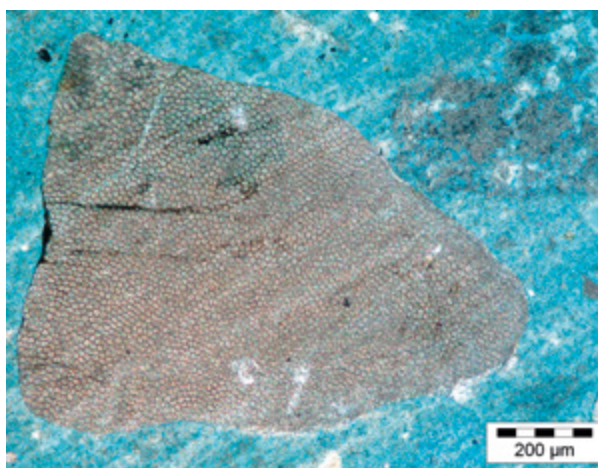
Provedena istraživanja potvrdila su da srednjovjekovni *arriccio* i *intonaco* imaju specifična svojstva koja valja uvažiti u pripremi nadomjesnih žbuka. Ta su svojstva rezultat sastava višeslojne žbuke, ali i tehnologije njezine primjene. U žbuci je zamjetan razmjerno velik udio veziva te agregat topljiv u kloridnoj kiselini. Riječ je o agregatu na bazi kalcita, odnosno o agregatu povezanom kalcitom. Vizualna svojstva poput boje, strukture i površinske teksture žbuke posljedica su boje, veličine, udjela i vrste upotrijebljenih agregata. Također, nanošenje žbuke zidarskom špatulom rezultiralo je površinom specifičnog karaktera. Fizikalna svojstva poput čvrstoće, modula elastičnosti te vodoupojnosti povezana su s udjelom agregata i veziva, vrstom i veličinom agregata te s pornim prostorom. Na svojstva i ponašanje višeslojne srednjovjekovne žbuke u crkvi sv. Marije kod Lokve uvelike utječe odsutnost velikih pora te velik udio finih pora. Porni prostor utječe na kapacitet upijanja i otpuštanja vode, a zbog velikog udjela finih pora žbuka se ponaša slično opeci; lako upija vodu i vrlo brzo se suši. Agregati na bazi kalcita, odnosno agregati vezani kalcitom su uglati. Zbog toga se ne mogu dobro sabiti, što dovodi do većeg udjela finih pora i posljedično manje težine žbuke. Također, razlog manje težine može biti sklonost kalcitnih agregata da upijaju vodu; prilikom isparavanja vode iz strukture žbuke nastaju pore koje smanjuju njezinu težinu. Elementna analiza žbuke pokazala je visok postotak niobija, što ukazuje na korištenje lokalnih materijala kao veziva i/ili agregata. Taj bi podatak mogao biti koristan za daljnja istraživanja točnoga podrijetla materijala, odnosno kamenoloma. Čini se da je upotreba žbuka s agregatom na bazi kalcita i agregata vezanog kalcitom tipična za istarske srednjovjekovne zidne slike, što je zasigurno posljedica velike regionalne rasprostranjenosti nalazišta vapnenca i vapnenačkoga pješčenjaka. Tehnologija proizvodnje i primjene žbuke



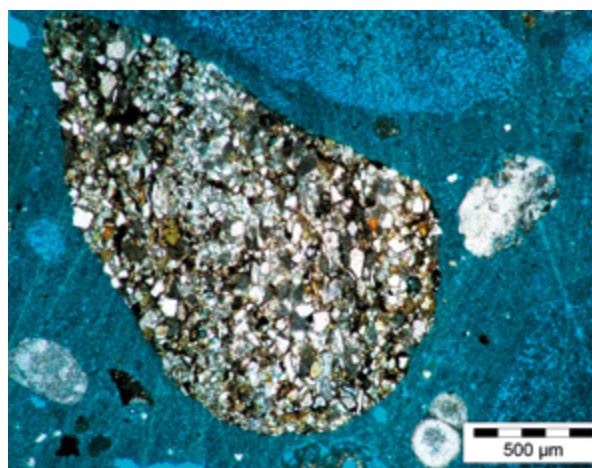
**9.** Mikrofotografija segmenta tankog presjeka s mramornim agregatom (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Microphotograph of a segment of the thin section with marble aggregate (photo by B. Hacker, 2009)*



**10.** Mikrofotografija segmenta tankog presjeka s fosilnim vapnencem kao agregatom (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Microphotograph of a segment of the thin section with fossil limestone as aggregate (photo by B. Hacker, 2009)*



**11.** Mikrofotografija segmenta tankog presjeka s koraljnim agregatom (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Microphotograph of a segment of the thin section with coral aggregate (photo by B. Hacker, 2009)*



**12.** Mikrofotografija segmenta tankog presjeka s agregatom na bazi vapnenačkog pješčenjaka (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Microphotograph of a segment of the thin section with lime-sandstone-based aggregate (photo by B. Hacker, 2009)*

opisanih svojstava ubraja se među starije, ali danas čini se prilično zaboravljene tehnologije, koje bi svakako vrijedilo pomnije istražiti.

### Procjena uobičajenih materijala za injektiranje u usporedbi s izvornom žbukom zidne slike

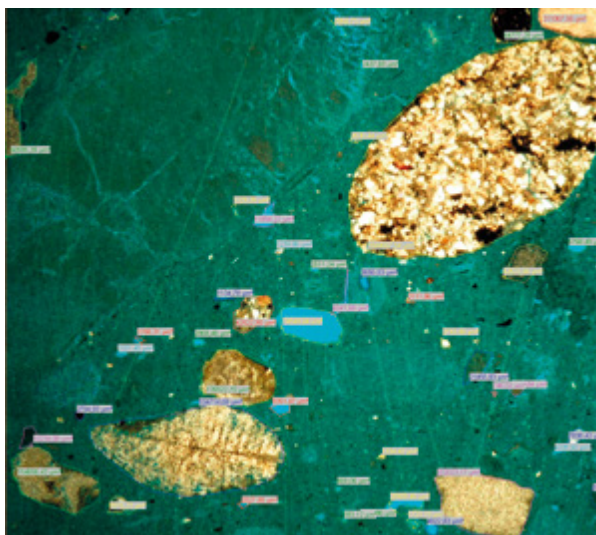
S obzirom na to da je ispunjavanje šupljina procijenjeno kao prioritet za zaštitu zidne slike te činjenicu da je sam postupak dalekosežno, nereverzibilno zadiranje u njezinu strukturu, smatralo se iznimno važnim - na temelju specifičnih svojstava građevine - odabrati prikladan materijal za injektiranje. U tu svrhu pripremljeni su standardizirani uzorci, u konzervaciji-restauraciji uobičajenih, komercijalnih masa za injektiranje, čiji su fizikalni parametri poput statičkog modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće uspoređeni s odgovarajućim vrijednostima izvornog *arriccia*.

### ZAHTJEVI KOJE MORA ZADOVOLJITI MATERIJAL ZA INJEKTIRANJE

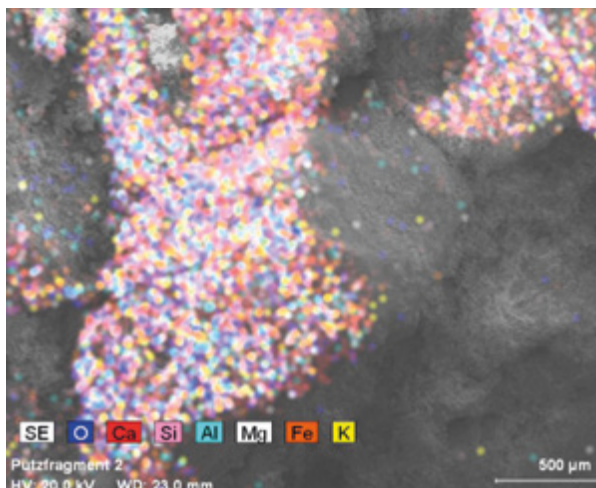
Na zidnoj slici u crkvi sv. Marije kod Lokve prije svega se pokazalo potrebnim ponovno uspostaviti oslabljenu adheziju između *arriccia* i kamenoga zida. Kako bi se odabrala masa za injektiranje koja bi odgovarala specifičnim svojstvima izvorne žbuke, valjalo je definirati zahtjeve koje mora zadovoljiti.

Budući da je riječ o nereverzibilnom postupku koji ni u kojem slučaju ne bi smio uzrokovati buduća oštećenja, kemijska i fizikalna svojstva injekcijskih masa moraju se uskladiti sa svojstvima izvornih slojeva žbuka. Da bi se smanjilo naprezanje, nužno je poznavati fizikalne karakteristike izvorne žbuke.<sup>34</sup> Materijal za injektiranje mora biti lagan (mala gustoća) jer prevelika specifična težina može prouzrokovati odvajanje žbukanih slojeva od nosača. Vrijednosti tlačne i savojno-vlačne čvrstoće ne smiju biti





**13.** Mikrofotografija segmenta tankog presjeka s izmjerenim agregatima (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Microphotograph of a segment of the thin section with the aggregates measured (photo by B. Hacker, 2009)*



**14.** Snimka pretražnim elektronskim mikroskopom (SEM) s prikazom elemenata kalcija, aluminija, magnezija, željeza, kalija i silicija (Elisabeth Fensch, *Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009., 1*)  
*Image obtained using scanning electron microscope (SEM) showing elements of calcium, aluminium, magnesium, iron, potassium and silicon (Elisabeth Fensch, *Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009, 1*)*

veće od odgovarajućih vrijednosti izvorne žbuke. Poželjno je da modul elastičnosti također bude što manji (trebao bi iznositi 20 % - 60 % vrijednosti izvorne žbuke)<sup>35</sup> jer je taj parametar mjerilo elastičnosti materijala. Ako injektirani materijal nije dovoljno elastičan, može doći do povećanog naprezanja pri deformaciji žbuke pod utjecajem temperature i vlage, jer u tom slučaju uneseni materijal ne prati gibanje izvorne žbuke koja je pritom sklona pucaanju i odlamanju. Nadalje, treba voditi računa o dostatnom transportu vode, bilo u tekućem, bilo u plinovitom stanju,

kako materijal ne bi djelovao poput „barijere“. Injektirana masa u šupljini mora otvrdnuti homogeno, bez sedimentacije. Ovisno o području primjene, viskoznost materijala trebala bi biti što manja kako bi se mogle koristiti igle malog promjera. Manja viskoznost također omogućava bolji protok i prodiranje,<sup>36</sup> što omogućuje ispunjavanje užih šupljina. Međutim, pritom valja voditi računa o tome da veći udio vode uzrokuje skupljanje mase, a može aktivirati i prisutne soli. Materijal bi trebao biti kemijski inertan i njime se ne bi smjele unositi štetne tvari u strukturu, niti bi smio poslužiti kao hranjiva podloga za mikroorganizme. Jednostavna priprema i rukovanje također su poželjna svojstva materijala za injektiranje.

#### PRIPREMA STANDARDIZIRANIH UZORAKA IZVORNE ŽBUKE ARRICCIA

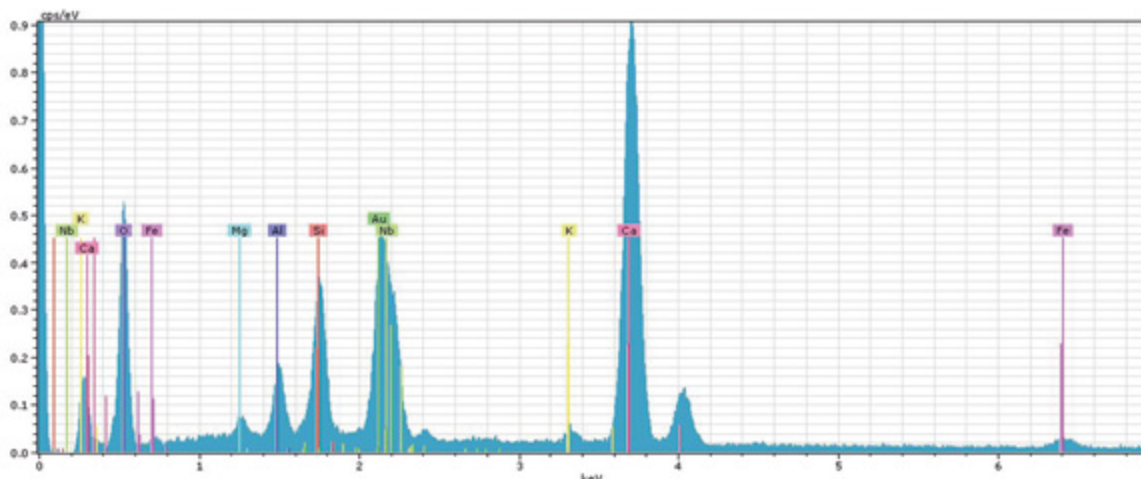
U konzerviranju-restauriranju kamena obično se za određivanje statičkog modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće bušenjem uzimaju valjkasti uzorci promjera oko 2,8 cm koji se potom režu u pločice debljine 0,3 cm. Tako se dobivaju standardizirani uzorci koje je moguće precizno uspoređivati. Ta se metoda može primijeniti i u ispitivanju zidnih slika. Međutim, u tom se slučaju ne uzorkuje bušenjem, već se uzorak priprema iz nove žbuke koja po svojstvima oponaša izvornu, a njezin se sastav određuje prema prethodno provedenim laboratorijskim istraživanjima. Pritom novopripremljena žbuka često ima drugačije vrijednosti statičkog modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće od izvorne jer nije prošla proces prirodnoga starenja te posljedična oštećenja, budući da je umjetno inducirano autentično starenje teško izvedivo. Također, do većih razlika u vrijednostima lako može doći zbog nedovoljno preciznih podataka o sastavu izvorne žbuke.

Na izvornoj žbuci u crkvi sv. Marije kod Lokve vidljivi su tragovi starenja koji je oslabljuju i znatno narušavaju njezinu strukturu. Pronalazak srednjovjekovnih fragmenta žbuke u materijalu kojim je nasipan pod crkve omogućio je pripremu uzoraka za ispitivanje. Međutim, velik problem bio je sam postupak obrade uzorka; iz jednog fragmenta trebalo je izrezati pločicu promjera 2,8 cm, debljine 0,3 cm a da pritom ne popuca. Ipak, iz izvorne žbuke uspjela su se pripremiti ukupno tri valjana, standardizirana uzorka (sl. 16).

#### PRIPREMA STANDARDIZIRANIH UZORAKA UOBIČAJENIH MASA ZA INJEKTIRANJE

Pripremljeni su standardizirani testni uzorci sljedećih materijala za injektiranje: KSE 500 STE-Modul-System<sup>®</sup>,<sup>37</sup> CalXnova<sup>®</sup> mort za injektiranje,<sup>38</sup> PLM-AL<sup>®</sup> mort za injektiranje,<sup>39</sup> PLM-A<sup>®</sup> mort za injektiranje<sup>40</sup> i Ledan<sup>®</sup> mortovi za injektiranje<sup>41</sup> (sl. 17). Korištene su recepture proizvođača, ali i one sastavljene na temelju dobrih karakteristika parametara poput tečnosti, sedimentacije, prodiranja i





15. EDX spektar srednjovjekovne žbuke (Elisabeth Fensch, *Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME*, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009., 2)

EDX spectrum of the medieval plaster (Elisabeth Fensch, *Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME*, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009, 2)



16. Standardizirani testni uzorak srednjovjekovnog arriccio (snimio B. Hacker, 2009.)

Standardized test sample of the medieval arriccio (photo by B. Hacker, 2009)



17. Standardizirani testni uzorci raznih masa za injektiranje (snimio B. Hacker, 2009.)

Standardized test samples of various injection materials (photo by B. Hacker, 2009)

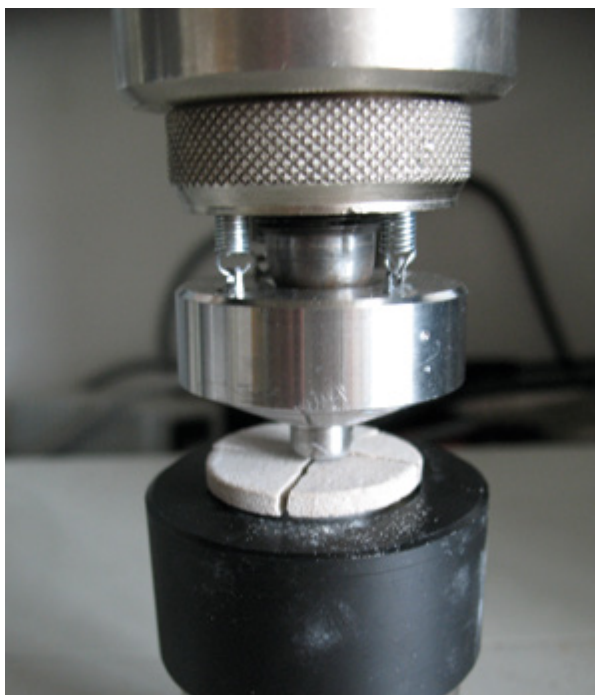
čvrstoće prijanjanja, utvrđenih različitim ispitivanjima injekcijskih masa.<sup>42</sup>

#### MJERENJE STATIČKOG MODULA ELASTIČNOSTI I BIAKSIJALNE SAVOJNO-VLAČNE ČVRSTOĆE<sup>43</sup>

Testni uzorci materijala *KSE 500 STE-Modul-System*<sup>®</sup> mogli su se dobro obraditi za potrebe mjerenja, unatoč velikim pukotinama nastalim pri otvrdnjivanju. Kod svih je receptura izmjerena velika čvrstoća, a vizualnim pregledom uočene su velike pore u strukturi. Nakon otvrdnjivanja testni uzorci *CalXnova*<sup>®</sup>, *PLM-AL*<sup>®</sup> i *PLM-A*<sup>®</sup> mortova za injektiranje bili su homogene strukture bez pukotina. Od testnih uzoraka različitih *Ledan*<sup>®</sup> mortova za injektiranje samo se jedna od tri ispitane recepture mogla obrađivati jer su ostali uzorci tijekom otvrdnjivanja znatno popucali. Riječ je o recepturi pripremljenoj materijalom *Ledan D2*<sup>®</sup>. Nakon obrade, a prije određivanja modula

elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće (sl. 18), testni su uzorci izmjereni (radijus i debljina) i izvagani.

Kao što je rečeno, vrijednosti modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće mase za injektiranje moraju biti niže od odgovarajućih vrijednosti izvorne žbuke. Međutim, ispitane recepture najvećim su dijelom pokazale više vrijednosti od minimalne vrijednosti žbuke *arriccio* ( $0,88 \text{ kN/mm}^2$ ), koja je uzeta za polazište jer se pretpostavlja da je struktura žbuke na područjima na kojima valja injektirati oslabljena. Najviše vrijednosti modula elastičnosti izmjerene su na uzorcima materijala *KSE 500 STE-Modul-System*<sup>®</sup> (max.  $4,27 \text{ kN/mm}^2$ ), i to gotovo petostruko više od minimalne vrijednosti *arriccio*. Materijal za injektiranje *CalXnova*<sup>®</sup> pokazao je povoljne vrijednosti modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće. Najviše vrijednosti, više od onih oslabljene izvorne žbuke, pokazao je nemodificirani materijal<sup>44</sup> ( $1,49 \text{ kN/mm}^2$ ), a



**18.** Postupak mjerenja mehaničkih svojstava (statičkog modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće) testnog uzorka mase za injektiranje s uređajem DO-FB010TN, Zwick/Roell (snimio B. Hacker, 2009.)

*Measuring the mechanical properties (static modulus of elasticity and biaxial flexural-tensile strength) of an injection material test sample with the Zwick Roell DO-FB010TN testing device (photo by B. Hacker, 2009)*



**19.** Uzorci nadomjesne žbuke *arriccio* i *intonaco* s agregatom na bazi kalcita, odnosno agregatom vezanim kalcitom (snimio B. Hacker, 2009.)

*Samples of the replacement plasters for *arriccio* and *intonaco* with calcite-based aggregate, i.e. aggregate bound by calcite (photo by B. Hacker, 2009)*

nižih su vrijednosti bile modificirane recepture<sup>45</sup> ( $\varnothing$  0,52 kN/mm<sup>2</sup> i  $\varnothing$  0,65 kN/mm<sup>2</sup>) zbog dodatka šupljih staklenih mikrokuglica.<sup>46</sup> Vrijednosti izmjerene na uzorcima mase *PLM-AL*<sup>®</sup> također su se kretale u rasponu vrijednosti izvorne žbuke, a vrijednosti jedne od ispitanih receptura bile su čak znatno niže ( $\varnothing$  0,45 kN/mm<sup>2</sup>). Od svih ispitanih uzoraka, masa *PLM-AL*<sup>®</sup> pokazala se najlakšom, a dvije recepture bile su čak upola lakše od uzoraka svih drugih ispitanih materijala. Izrazito mala specifična težina velika je prednost toga materijala. Vrijednosti izmjerene na uzorcima mase *PLM-A*<sup>®</sup> ( $\varnothing$  1,87 kN/mm<sup>2</sup>) i *Ledan D2*<sup>®</sup> ( $\varnothing$  1,71 kN/mm<sup>2</sup>) bile su više od vrijednosti dobivenih ispitivanjem uzoraka mase *PLM-AL*<sup>®</sup> i *CalXnova*<sup>®</sup>.

### ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata ispitivanja različitih masa za injektiranje moglo se zaključiti da su vrijednosti modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće to više što je veći udio veziva u recepturi. S obzirom na suviše visoke vrijednosti, materijali *KSE 500 STE-Modul-System*<sup>®</sup>, *PLM-A*<sup>®</sup> i *Ledan D2*<sup>®</sup> nisu ocijenjeni pogodnima za ispušnjavanje šupljina.<sup>47</sup> Primjerenima su se pokazali materijali *CalXnova*<sup>®</sup> i *PLM-AL*<sup>®</sup>, gdje su u nekim recepturama izmjerene vrijednosti modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće bile znatno niže od vrijednosti izvorne žbuke *arriccio*. Određene recepture navedenih materijala upotrijebljene su *in situ*,<sup>48</sup> modificirani materijal *CalXnova*<sup>®</sup> za područja na kojima nije potreban veliki protok, te nemodificirana masa *PLM-AL*<sup>®49</sup> za injektiranje tankih šupljina koje se protežu usporedno s površinom, gdje je veliki protok nužan.

### Priprema i ispitivanje nadomjesnih žbuka *in situ*

U svrhu provedbe zaštitnih mjera na srednjovjekovnoj zidnoj slici također je trebalo pripremiti primjerene nadomjesne žbuke koje su poslije korištene za zatvaranje pukotina i nadomještanje dijelova na kojima nedostaju *arriccio* i *intonaco*. Kao i odabrani materijali za injektiranje, upotrijebljene su na jednom testnom području zidne slike. Različite recepture žbuka, temeljene na rezultatima laboratorijskih analiza, pripremljene su i ispitivane *in situ*, a završni odabir prikladnih nadomjesnih žbuka proveden je na temelju subjektivnih zapažanja.

S obzirom na specifična svojstva izvorne žbuke, nadomjesna žbuka treba biti slična, i to u pogledu vrste i sastava veziva, agregata te tehnologije pripreme. Nadomjesna žbuka mora imati slične ili niže vrijednosti od izvorne žbuke s obzirom na čvrstoću, modul elastičnosti, gustoću i ponašanje pod utjecajem vlage. Agregati ne smiju sadržavati štetne sastojke poput soli, organskih onečišćenja (humus, ugljen) te filosilikata ili gline koji se šire i skupljaju ovisno o količini vlage i koji nisu otporni na smrzavanje. U slučaju zidne slike u crkvi sv. Marije kod Lokve valjalo je upotrijebiti agregat pretežito na bazi kal-





**20.** Ugroženo područje testne osi prije provedbe zaštitnih mjera (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Endangered area of the test axis before implementing the protective measures (photo by B. Hacker, 2009)*



**21.** Područje testne osi nakon provedbe zaštitnih mjera (snimio B. Hacker, 2009.)  
*Endangered area of the test axis after implementing the protective measures (photo by B. Hacker, 2009)*

cita, odnosno agregat vezan kalcitom; mramor, kalcit u obliku minerala, vapnenac i vapnenački pješčenjak. Takav agregat odgovoran je za velik udio finih pora i odatle za relativno malu gustoću i težinu izvorne žbuke. Izvorni agregat pretežito je drobljen, oštih bridova zrna te s velikim udjelom kamenoga praha, no praškaste čestice  $\leq 0,09$  mm iz agregata za izradu nadomjesne žbuke valjalo je ukloniti jer je riječ o česticama koje nisu inertne. Njihov udio ne bi smio biti veći od 5 tež. %.<sup>50</sup> Agregat bi također trebao sadržavati uravnotežen udio različitih granulacija kako bi vezivo služilo pretežito za povezivanje pojedinačnih zrna, a ne za popunjavanje šupljina. Velik udio finog zrna (0 - 0,2 mm), najmanje 10 tež. %, nužan je za popunjavanje šupljina između pojedinih zrna agregata. Važan je i udio krupnih zrna jer ona povećavaju otpornost žbuke na smrzavanje i otežavaju prodor vlage.<sup>51</sup> Budući da su u strukturi srednjovjekovne višeslojne žbuke identificirane tri vrste žbuka (žbuka spojnica, *arriccio* i *intonaco*) koje se razlikuju po granulaciji agregata, obnovu oštećenja žbuke valja izvoditi uvažavajući višeslojnu izvornu strukturu. Prema literaturi, nadomjesna žbuka za spojnice treba sadržavati agregat granulacije od 0 do najviše 10 mm. Žbuka *arriccio* treba sadržavati agregat granulacije od 0 do najviše 3 mm, a površinska žbuka,

odnosno žbuka *intonaco* treba sadržavati agregat granulacije od 0 do najviše 2 mm.<sup>52</sup> Također, pri aplikaciji nadomjesne žbuke valja se pridržavati općeprihvaćenog pravila da debljina nanosa ne smije biti veća od trostruko iznosa veličine najvećeg zrna.

S obzirom na to da je određen omjer veziva i agregata u izvornom *arriccio* 2 : 1, kako bi se dobila mekša nadomjesna žbuka, udio veziva valjalo je smanjiti na 1 (vezivo) : 2 (agregat). U slučaju *intonaco* upotrijebljen je omjer veziva i agregata 1 : 3.<sup>53</sup> Kao vezivo je korišteno lokalno gašeno vapno iz okolice Žminja.<sup>54</sup> Za određivanje granulometrije nadomjesnih žbuka poslužili su rezultati analiza izvornih žbukanih slojeva; makroskopske analize i analize tankih presjeka, ali i spomenuta literatura te zapažanja *in situ*. Zbog poteškoća u nabavi lokalnog vapnenačkog agregata te kako mramor po svojoj kemijskoj strukturi pripada istoj skupini minerala kao vapnenac, umjesto vapnenca upotrijebljene su tri vrste drobljenog mramornog agregata različitih granulacija (0-2,5 mm, 0-0,15 mm)<sup>55</sup> bijele do bijelo-žućkaste boje. Budući da su analize tankih presjeka žbuka pokazale prisutnost kalcita kao minerala, u recepturama je korišten i drobljeni kalcit granulacije oko 20  $\mu$ m.<sup>56</sup> Također je upotrijebljen vrlo rasprostranjen lokalni kamen iz okolice crkve, po svemu sudeći vapne-

načko-pješčenjačkog sastava.<sup>57</sup> Usitnjen je čekićem te prosijan i ispran vodom kako bi se uklonile štetne soli, organska onečišćenja te glinovite primjese. Upotrijebljen je u finoj (1-1,5 mm) i srednje gruboj (1,5-2 mm) granulaciji. Agregat je pokazao veliku sličnost s izvornim agregatom zidne slike.

U prvoj seriji ispitivanja za pripremu uzoraka *arriccia* i *intonaca* uz opisane agregate upotrebljavao se kvarcni pijesak. Uzorci su se znatno razlikovali od izvornih žbuka po boji, strukturi i težini. Bili su gušći i teži od druge serije uzoraka pripremljenih isključivo s agregatom na bazi kalcita, odnosno agregatom vezanim kalcitom. Kako je izvorna žbuka male specifične težine, težina je bila važan element u odabiru primjerene nadomjesne žbuke. Veća težina tu je posljedica utjecaja kvarcnoga pijeska na volumni udio pora. On je u srednjovjekovnoj žbuci vrlo visok, što utječe i na težinu žbuke. Prirodno zaobljena kvarcna zrna kakva nalazimo u kvarcnome pijesku omogućuju bolje zbijanje žbuke i smanjuju volumni udio pora. Tako nastaje gušća struktura i žbuka je teža u usporedbi sa žbukom pripremljenom od agregata na bazi kalcita, iz već navedenih razloga (manja težina je posljedica uglatih i poroznih agregata).

Na temelju rezultata ispitivanja prve serije uzoraka, mogućnost dodavanja kvarcnoga pijeska kao agregata je isključena. Probe nadomjesne žbuke *arriccia* i *intonaca* iz druge serije uzoraka dale su vrlo dobre rezultate; postignuta je zadovoljavajuća sličnost s višeslojnom izvornom žbukom (sl. 19). Uzorci nadomjesne žbuke *arriccia* pripremljeni *in situ* imali su sličnu strukturu, boju i težinu kao izvorna žbuka. Omogućavali su jednostavnu obradu, a pri otvrdnjivanju žbuka nije popucala. Nakon obrade *arriccia* dobivena je gruba površina prikladna za dobru adheziju *intonaca*. Nanošenjem nadomjesnog *intonaca* dobivena je glatka i homogena površina slična izvornoj. Sloj debljine 3 do 4 mm pri otvrdnjivanju nije popucao. Međusobno prijanjanje *arriccia* i *intonaca* te njihovo prijanjanje uz podlogu također je ocijenjeno kao dobro.

### Provedba zaštitnih mjera 2009. godine

Razvijen konzervatorsko-restauratorski koncept testiran je 2009. godine na jednom testnom području zidne slike; na lijevom dijelu, na području prikaza lika sv. Josipa. Važan čimbenik u odabiru testne osi bila je potreba za žurnom konsolidacijom tog iznimno ugroženog dijela zidne slike (sl. 20). Oštećenja su prouzrokovana delaminacijom, odnosno odvajanjem višeslojne žbuke od nosača zbog pukotine nastale slijeganjem terena. Zaštitne mjere za sprječavanje potpunog gubitka žbuke obuhvatile su sanaciju pukotina, ispunjavanje šupljina i primjenu nadomjesne žbuke, a ovdje će biti opisane samo u osnovnim postupcima. Kao prva zaštitna mjera izveden je *facing* ugroženih dijelova japanskim papirom i 1%-3%-tnom tilozom.<sup>58</sup> Strukturna konsolidacija izvorne višeslojne žbuke oslabljene kohezije

izvedena je učvršćivačem *CaLoSil® E5*<sup>59</sup> koji je nanesen kistom ili kapanjem uz prethodnu aplikaciju mješavine etanola i vode. *CaLoSil® E5* je primijenjen tri do četiri puta uz obvezno sušenje 24 sata između pojedinih nanošenja. U šupljine i pukotine injektirane su, ovisno o konkretnom problemu, odnosno dubini, modificirana masa *CalXnova®* ili nemodificirana masa *PLM-AL®*. Postupak injektiranja je za svaku šuplinu ponovljen više puta i trajao je nekoliko dana. Injektirano je bez povišenog tlaka te postupno, da bi se omogućilo nesmetano otvrdnjivanje materijala. Kako masa ne bi istjecala, prije injektiranja parcijalno su po potrebi nadomjesnim žbukama *arriccia* ili *intonaca* zatvarani rubovi šupljina i pukotine. Nakon ispunjavanja šupljina, dublja oštećenja žbuke ispunjena su najprije modificiranim nadomjesnom žbukom *arriccia*<sup>60</sup> te potom s još tri do četiri sloja *arriccia*. Potom je, također u više slojeva, nanescena nadomjesna žbuka *intonaca*. U slučaju plićih oštećenja upotrijebljena je samo žbuka *intonaca*. Njegova je površina zaglađena spužvom da bi se postigla glatka i homogena struktura slična licu izvorne žbuke. Nakon ispunjavanja većih oštećenja žbuke, brojne fine pukotine ispunjene su toniranim masom *PLM-AL®* s pomoću kista. Prethodno sanirana oštećenja žbuke premazana su toniranim vapnenim premazom koji je u konačnici svjetliji i hladniji od podložnog sloja (toniranog vapnenog premaza) zidne slike, čime se postiglo prevladavanje boja same slike (sl. 21.).

### Radovi u sklopu restauratorske prakse od 2013. do 2015. godine

Radovi na zaštiti zidne slike u crkvi sv. Marije kod Lokve nastavljani su 2013. godine u sklopu restauratorske prakse studenata OKIRU ALU Sveučilišta u Zagrebu i od tada se provode u srpnju svake godine. Pritom se primjenjuju materijali odabrani na temelju spomenutih istraživanja te metodologija rada uspostavljena tijekom izvedbe zaštitnih mjera 2009. godine. Međutim, u pogledu sastava nadomjesnih žbuka *arriccia* i *intonaca*, uvedena je promjena; mramorni agregat zamijenjen je vapnenačkim agregatom iz lokalnih kamenoloma<sup>61</sup> koji je prosijan u željene granulacije. Osim proučavanja okoliša, procjene stanja zaštite građevine i zidne slike, opisivanja različitih vrsta oštećenja, istraživanja tehnike i tehnologije itd., studenti su pod stručnim vodstvom najvećim dijelom izvodili postupke u svrhu stabilizacije žbuke oslabljene kohezije i adhezije. Tako su do 2016. godine injektiranjem učvršćena najugroženija područja zidne slike, što se smatralo iznimno važnim korakom prije planirane obnove strukturne stabilnosti građevine. Kako ispravna priprema i primjena konzervatorsko-restauratorskih materijala, kao i sama provedba određenog postupka, čine temelj za dugoročnu zaštitu zidne slike bez ugrožavanja njezine stabilnosti, tim se aspektima posvećivala osobita pažnja. ■



## Bilješke

**1** Istraživanja je proveo Bastian Hacker u sklopu izrade diplomskog rada na Visokoj stručnoj školi u Potsdamu - Stručni odjel arhitekture i graditeljstva, Restauratorski smjer (Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Architektur und Städtebau, Studiengang Restaurierung).

**2** MARIJAN BARTOLIĆ, IVAN GRAH (prir.), 1999., 72.

**3** ŽELJKO BISTROVIĆ, 2011., 81.

**4** BRANKO FUČIĆ, 1966., 400.

**5** BRANKO FUČIĆ, 1982., 161.

**6** ROSANA RATKOVČIĆ, 1999., 93.

**7** Analize veziva slikanog sloja provedene u Prirodoslovnom laboratoriju Hrvatskog restauratorskog zavoda pokazale su da je vezivo vapno (kalcijev karbonat) i nije ustanovljen organski materijal. DOMAGOJ MUDRONJA, MARIJA BOŠNJAK, Izvješće o analizi veziva na zidnoj slici u crkvi sv. Marije kod Lokve u Gologorici, Prirodoslovni laboratorij HRZ-a, Zagreb, 2009. Prisutnost proteina u slikanom sloju i vapnenom premazu ustanovljena je mikrokemijskim analizama koje su provedene (B. Hacker) u Restauratorskom laboratoriju Visoke stručne škole u Potsdamu.

**8** Analize pigmenata slikanog sloja provedene su u Prirodoslovnom laboratoriju Hrvatskog restauratorskog zavoda. DOMAGOJ MUDRONJA, Izvješće o analizi pigmenata na zidnoj slici u crkvi sv. Marije kod Lokve u Gologorici, Prirodoslovni laboratorij HRZ-a, Zagreb, 2009.

**9** JOSEF MAIER, 2002., 120.

Statički problemi uočeni u ovoj crkvi mogli bi imati različite uzroke. Pukotine su mogle nastati kao posljedica znatnog povećanja težine građe (JOSEF MAIER, 2002., 120.), do čega je došlo zbog povišenja prvotnog krovništva, ugradnje ravnog stropa te nasipavanja poda. Nadalje, budući da je crkva smještena na brežuljku (s podzidom na zapadnoj i južnoj strani), tijekom vremena je dolazilo do pomicanja terena, a uzrok znatnijih gibanja, osim dodane težine (npr. dogradnja lođe), vjerojatno je širenje i skupljanje glinovitoga tla. Također, prvotni brežuljak je djelomično uklonjen u južnom i istočnom dijelu, a u sjevernom nasut te je tlo tijekom vremena isprano.

**10** Zbog promjene njihova volumena dolazi do otpadanja okolnog *intonaca*. Također, zbog udjela vlažne gline i silta agregat je osjetljiv na smrzavanje (PETER VIERL, 1984., 193).

**11** Od rujna do listopada 2009. godine zabilježena su kolebanja relativne vlažnosti zraka od 40 % do 85 %.

**12** Analize soli provedene su (B. Hacker) u Restauratorskom laboratoriju Visoke stručne škole u Potsdamu.

**13** IVO HAMMER, 1996., 83.

**14** GIORGIO TORRACA, 1986., 23.

**15** CARLA LEUPOLD, 2006., 86.

**16** Mokre kemijske analize uzoraka žbuke provedene su u Prirodoslovnom laboratoriju Hrvatskog restauratorskog zavoda i u Restauratorskom laboratoriju Visoke stručne škole u Potsdamu (B. Hacker). Makroskopska analiza uzorka

žbuke *arriccia* i *intonaca* pokazala je svijetlu, gotovo bijelu žbuku s agregatom fine granulacije. Analiza svjetlosnim mikroskopom pod četverostrukim povećanjem pokazala je bijelo vezivo s crnim, sivim i smeđim agregatom granulacije do 2 mm. Pri mjerenju vlažnosti žbuke dobivena je vrijednost od 0,53 m %. Pri određivanju udjela sastojaka topljivih u kloridnoj kiselini dobivena je vrlo visoka vrijednost od 93,34 m %, dok je udio netopljivih sastojaka bio vrlo mali, 5,97 m %. Određivanje sastava žbuke na temelju mokre kemijske analize pokazalo se nepouzdanim jer je u procjeni kalcitni agregat žbuke pripisan vezivu, no moglo se sa sigurnošću zaključiti da je riječ o čistoj vapnenoj žbuci (također je ustanovljen vrlo mali udio hidrauličnih sastojaka (0,18 %) te mali udio gipsa i metalnih oksida koji vjerojatno potječu iz agregata i onečišćenja veziva). Rezultati istraživanja granulometrije netopljivog ostatka također nisu bili reprezentativni.

Makroskopska analiza uzorka žbuke *arriccia* pokazala je da se također radi o žbuci s bijelim, blago žućkastim vezivom i agregatom crne, sive i smeđe boje, granulacije do 2 mm. Uzorak *arriccia* uzorkovan je sa zidne slike kako bi se potvrdilo da je prvi uzorak (pripremljen iz fragmenta pronađenog ispod poda crkve) pripadao izvornom osliku te kako bi se potvrdili rezultati dobiveni njegovom analizom. Izmjeren je postotak vlažnosti žbuke od 0,01 m %. Udio sastojaka topljivih u kloridnoj kiselini iznosio je 90,98 m %. Na temelju optičkih svojstava i rezultata analize moglo se zaključiti da je i tu riječ o vapnenoj žbuci s agregatom na bazi kalcita, odnosno agregatom vezanim kalcitom, koja pokazuje gotovo identična svojstva kao prethodno analizirani uzorak. Daljnji proračuni nisu provedeni zbog opisane analize reprezentativnog uzorka žbuke, kao i nepreciznih rezultata nastalih zbog velikoga udjela sastojaka topljivih u kloridnoj kiselini.

Žbuka spojnice bila je žuće boje od žbuke *arriccia*. Vizualnim ispitivanjem uočen je veći udio agregata smeđe, zelene i sive boje, granulacije do 1 cm. Izmjeren je postotak vlažnosti od 0,07 m %. Udio sastojaka topljivih u kloridnoj kiselini iznosio je 79,93 m %. I u žbuci spojnice udio agregata na bazi kalcita, odnosno agregata vezanog kalcitom, bio je velik, no manji nego u uzorku koji je sadržavao i *arriccio* i *intonaco*. To je vjerojatno posljedica većega udjela agregata, odnosno njegove veličine. Pretpostavlja se da je riječ o agregatu od vapnenačkog pješčenjaka s glinovitim sastojcima koji je preostao kao netopljivi ostatak.

**17** ANDREAS PROTZ, 1998., 52.

**18** Analize tankih presjeka provedene su (B. Hacker) u Restauratorskom laboratoriju Visoke stručne škole u Potsdamu. U analiziranim uzorcima žbuke korišten je kalcijev hidroksid kao vezivo, na slikama tankih presjeka prikazan tamnoplavom bojom. Smečkasta nijansa vjerojatno je posljedica glinovitih onečišćenja u pečenom kalcijevu karbo-

natu. U vezivu se razabiru raznovrsni agregati i grumeni vapna. Potonji se vide kao zrnasta područja s nešto svjetlijim vezivom, što upućuje na to da je vapno tijekom pripreme suho gašeno. Pore i pukotine u vezivu svjetlucaju svijetloplavo. Razabire se vrlo mali broj velikih pora. Pukotine su uvjetovane vrstom materijala i načinom obrade žbuke. Osim vrste upotrijebljenoga veziva te omjera veziva i agregata, i sastav samoga agregata znatno utječe na svojstva žbuke (TANJA DETTMER, 1998., 85). Čvrstoća i postojanost žbuke ovise o granulaciji agregata, ali i o njegovu sastavu (za vapnenac vidi PETER VIERL, 1984., 193; a za mramor vidi FRIEDRICH MÜLLER, 2005., 198.). Stoga je ispitivanje sastava agregata nužan preduvjet za pripremu nadomjesne žbuke koja po sastavu i svojstvima mora biti slična izvornoj.

**19** Fine pore mogle su, osim u samom vezivu, biti prisutne i u agregatu, no budući da zbog veličine ( $< 3 \mu\text{m}$ ) nisu bile vidljive pod polarizacijskim mikroskopom, nije bilo moguće napraviti razliku. Točnije, nije bilo moguće posebno odrediti udio finih pora u vezivu i udio finih pora u agregatu. Također, zbog toga što je kamen vapnenac (vapnenački agregat) nastao prirodnim procesom sedimentacije pod mnogo većim pritiskom nego što nastaje kalcijev karbonat od vapna u žbuci, manja je vjerojatnost da će u njemu biti finih pora. Iz tih je razloga udio finih pora pripisan isključivo vezivu.

**20** Snimanje pretražnim elektronskim mikroskopom (SEM) provela je tvrtka Block Materialprüfungs GmbH uređajem Cambridge Instrument/Stereoscan 360. Istodobno je provedena EDX analiza materijala uređajem Bruker AXS Microanalysis GmbH X-Flash 4010 Silizium-Driftdetektor.

**21** ANDREAS PROTZ, 1998., 53-54.

**22** Na EDX spektru uočljiv Au-vršak posljedica je pripreme obrade uzorka koji je naparen zlatom.

**23** ELISABETH FENSCH, Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009., 1-2.

**24** Mjerenja dinamičkog modula elastičnosti provedena su u Labor Köhler u Potsdamu, a proveli su ih W. Köhler i B. Hacker.

**25** JOCHEN STARK, BERND WICHT, 2000., 263.

**26** WOLFRAM KÖHLER, 1988., 105.

**27** Kvazilongitudinalni val je kombinacija longitudinalnog i transverznog vala, kod kojega glavni smjer kretanja čestica odgovara smjeru širenja vala, uz istovremene lagane oscilacije u transverznom smjeru. [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Akustik\\_Dehnwelle-Quasilongitudinalwelle-147693.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Akustik_Dehnwelle-Quasilongitudinalwelle-147693.html) (30. ožujka 2016.).

**28** WOLFRAM KÖHLER, 1988., 105.

**29** Ispitivanja maksimalnog kapaciteta upijanja vode i raspodjele radijusa pora provela je tvrtka FEAD GmbH.

**30** ANDREAS PROTZ, Untersuchung zur maximalen Wasseraufnahme und Porenradienverteilung, Hg-Porosimetrie-messung, FEAD GmbH, Potsdam, 2009., 1-2.

**31** JOSEF MAIER, 2002., 88. Fine pore upijaju vodu, a sila upojnosti ovisi o sastavu stijenke pora i njihovu promjeru. Što je promjer pore manji, to je veća sila upojnosti (GIORGIO TORRACA, 1986., 17.).

**32** GIORGIO TORRACA, 1986., 18.

**33** Dobra svojstva izvorne žbuke da lako upija i otpušta vodu djelomično su poremećena cementnom žbukom koja se nalazi na vanjskim zidovima. Ako se izradi nadomjesna žbuka po uzoru na izvornu, ona će također imati spomenuta dobra svojstva. S druge strane, ako se izradi nadomjesna žbuka lošijih svojstava upijanja i otpuštanja vode, moguće je dodatno pospješiti uzlaz kapilarne vlage te povećati relativnu vlagu zraka u samoj građevini.

**34** JAN RAUE, 1998., 97.

**35** ROLF SNETHLAGE, 2005., 125.

**36** EWA MARYNIAK-PIASZCYNski, 2000., 35.

**37** Za podatke o materijalu KSE 500 STE-Modul-System® vidi: [www.remmers.de/fileadmin/doc/pz/TL\\_0713\\_DE.pdf](http://www.remmers.de/fileadmin/doc/pz/TL_0713_DE.pdf) (19. veljače 2016.).

**38** Prema podacima proizvođača, CalXnova® masa za injektiranje ne sadrži štetne organske dodatke ili konzervanse te stvara hidrofilnu ispunu izvrsne postojanosti na atmosferilije. Za više podataka o materijalu vidi: [http://www.deffner-johann.de/media/wysiwyg/dateien/d\\_und\\_j\\_4227\\_001\\_005\\_020-calxnova\\_kalkinjektionsmoertel\\_shop\\_102012.pdf](http://www.deffner-johann.de/media/wysiwyg/dateien/d_und_j_4227_001_005_020-calxnova_kalkinjektionsmoertel_shop_102012.pdf) (19. veljače 2016.).

**39** Prema podacima proizvođača, PLM-AL® mort za injektiranje sadrži hidraulične i kemijski inertne dodatke, ali ne sadrži topljive soli. Masa prodire duboko te otvrdnjava homogeno bez sedimentacije. Nakon otvrdnjivanja je sličnih fizikalnih i mehaničkih svojstava kao vapnena žbuka, paropropusna i male specifične težine. Za više podataka o materijalu vidi: <http://www.ctseurope.com/en/scheda-prodotto.php?id=286> (19. veljače 2016.).

**40** Za podatke o materijalu PLM-A® vidi: <http://www.ctseurope.com/en/scheda-prodotto.php?id=283> (19. veljače 2016.).

**41** Riječ je o materijalima Ledan D1®, Ledan D2® i Ledan D3®. Za podatke o materijalu Ledan D1® vidi: <http://www.deffner-johann.de/ledan-d1-injektionsmoertel-dose-a-1-kg.html> (19. veljače 2016.). Za podatke o materijalu Ledan D2® vidi: <http://www.deffner-johann.de/ledan-d2-injektionsmoertel-eimer-a-15-kg.html> (19. veljače 2016.). Za podatke o materijalu Ledan D3® vidi: <http://www.deffner-johann.de/ledan-d3-injektionsmoertel-dose-a-1-kg.html> (19. veljače 2016.).

**42** Riječ je o ispitivanjima provedenima u sklopu projekta „DBU-Projekt AZ 14964-45 - Modellhafte Entwicklung von Schutzkonzepten und passiven Anlagen zum Raumklima ausgleich am Beispiel der national wertvollen umweltgeschädigten Wandmalereien im Schloss Rossowitz“, Institut za ispitivanje materijala, Bremen, 2005. i projekta „Putzkonserverung am Marstall im Park Babelsberg (SPSG), Potsdam“, Visoka stručna škola u Potsda-



mu, 2004./2005. Također, određene recepture pripremljene su na temelju istraživanja Annerose Seidel provedenih u sklopu diplomskoga rada na Visokoj stručnoj školi u Potsdamu. ANNEROSE SEIDEL, 2005.

**43** Mjerenja statičkog modula elastičnosti i biaksijalne savojno-vlačne čvrstoće provedena su (B. Hacker) u Restauratorskom laboratoriju Visoke stručne škole u Potsdamu na uređaju DO-FB010TN proizvođača Zwick/Roell.

**44** Korištena je receptura proizvođača prema čijim je uputama gotova injekcijska masa razrijeđena vodom maksimalno 10 %.

**45** Modificirane recepture uz dodatak šupljih staklenih mikrokuglica pripremljene su prema podacima iz literature. ANNEROSE SEIDEL, 2005., 110.

**46** *Scotchlite® Fein*, 150 µm - 210 µm (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG).

**47** Korištenje mase za injektiranje *KSE 500 STE-Modul-System®* također je problematično *in situ* jer je za optimalno otvrdnjivanje nužno osigurati stalnu temperaturu od 20 °C i relativnu vlažnost zraka od 50 %. <http://www.remmers.de/Produktdatenblatt.2574.o.html> (8. veljače 2013.). Na primjer, u crkvi sv. Marije kod Lokve klimatska su kolebanja znatna, što bi moglo ometati normalno otvrdnjivanje mase i time negativno utjecati na njezino ponašanje.

**48** Proizvodi *CalXnova®* i *PLM-AL®* također su prikladni za primjenu *in situ*.

**49** Korištena je receptura prema uputama proizvođača; na 100 g *PLM-AL®* dodano je 140 g destilirane vode. Proizvođač preporučuje dodavanje do 140 tež. % vode da bi se postigao odgovarajući protok materijala. <http://www.ctseurope.com/en/scheda-prodotto.php?id=286> (19. veljače 2016.).

**50** WERNER PIEPENBURG, 1969., 40.

**51** *Isto*, 46.

**52** *Isto*, 46.

**53** Poželjno je da gornji sloj žbuke (*intonaco*) bude mekši od donjeg sloja žbuke (*arriccio*), odnosno da čvrstoća žbuke opada od podloge (dubine) prema površini. Na taj će se način različiti slojevi žbuke dobro povezati međusobno, ali i s nosačem. Gornji sloj žbuke mora biti manje čvrstoće da bi bio dobre elastičnosti te da promjene u temperaturi i vlažnosti ne bi uzrokovale njegovo pucanje. Ako se na površini nalazi čvršća žbuka od one u dubini, taj je tvrdi sloj odvojen od tvrdog nosača jer se između nalazi mekši, elastičniji sloj. Rezultat može biti pucanje ili odvajanje žbukanih slojeva. Također, čvršća je žbuka na površini (žbuka s većim udjelom veziva) "zatvorenija", brže karbonatizira i otežava karbonatizaciju žbuke ispod, čineći je slabijom. WERNER PIEPENBURG, 1969., 160.

**54** „Restauratorsko gašeno vapno“ (KAPITEL d.o.o., Žminj).

**55** Marmormehl Carrara weiß (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG) i bijeli, blago žućkasti mramorni agregat (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG).

**56** Calcit weiß, ca. 20 µm (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG).

**57** Pri dodavanju razrijeđene kloridne kiseline razvila se burna reakcija uz obilno pjenjenje, što bi moglo značiti da je riječ o kamenu vezanom kalcitom, kakav je uočen i u analizama tankih presjeka izvorne žbuke.

**58** *Tylose® MH 300* (Kremer Pigmente GmbH & Co. KG).

**59** *CaLoSil® E5* (IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG).

**60** Nadomjesnoj žbuci *arriccio* dodani su krupniji agregati (2-2,5 mm).

**61** Korišteni su agregati pribavljeni od dviju tvrtki; KAPITEL d.o.o. iz Žminja te Fasada produkt d.o.o. iz Pazina.

## Literatura

MARIJAN BARTOLIĆ, IVAN GRAH (prir.), *Crkva u Istri - Osobe, mjesta i drugi podaci Porečke i Pulske biskupije*, treće, dopunjeno izdanje, Pazin, 1999.

ŽELJKO BISTROVIĆ, *Šareni trag istarskih fresaka - Pisana sled istarskih fresk*, Istarska županija, Pula, 2011.

TANJA DETTMER, Zur Anwendung von Kalkputzen für die Denkmalpflege, *Putzinzustandsetzung*, 9 (1998.), Berlin, 81-89.

ELISABETH FENSCH, Befunddokumentation, BLO, KommNr-01ME, Block Materialprüfungs GmbH, Berlin, 2009.

BRANKO FUČIĆ, *Slika i arhitektonski prostor u srednjovjekovnom zidnom slikarstvu u Istri*, *Ljetopis JAZU*, 71. (1966.), 391-412.

BRANKO FUČIĆ, *Glagoljski natpisi*, Zagreb, 1982.

IVO HAMMER, Salze und Salzbehandlung in der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche, *Salzschäden an Wandmalereien. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege*, 78. (1996.), 81-106.

WOLFRAM KÖHLER, Zerstörungsfreie Untersuchungen an Putzen und Mörteln der mittelalterlichen Feldsteinkirche in Schönwalde, *Mittelalterliche Putze und Mörtel im Land Brandenburg. Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege Arbeitsheft*, 9. (1988.), 103-110.

CARLA LEUPOLD, *Rosafarbene Bakterien auf Wandflächen - Untersuchungen zu den Wachstumsbedingungen*, diplomski rad, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Hildesheim, 2006.

JOSEF MAIER, *Handbuch historisches Mauerwerk - Untersuchungsmethoden und Instandsetzungsverfahren*, Basel, 2002.

EW A MARYNIAK-PIASZCZYNSKI, Injektionsmassen auf der Basis von dispergiertem Kalkhydrat - Einfluss des Dispergierens auf die physiko-mechanischen Eigenschaften ausgewählter Massen, *Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege - Alte Bindemittel, Neue*

*Möglichkeiten*, (ur.) Elisabeth Jägers, Petersberg, 2000., 35-52.

FRIEDRICH MÜLLER, *Gesteinskunde - Lehrbuch und Nachschlagewerk über Gesteine für Hochbau, Innenarchitektur, Kunst und Restaurierung*, Ulm, 2005.

WERNER PIEPENBURG, *Mörtel, Mauerwerk, Putz - Eigenschaften, Arbeitsregeln, Maßnahmen gegen Bauschäden*, Wiesbaden / Berlin, 1969.

ANDREAS PROTZ, *Moderne Methoden der Putzuntersuchung, Putzinzustandsetzung*, 9 (1998.), Berlin, 49-59.

ANDREAS PROTZ, *Untersuchung zur maximalen Wasseraufnahme und Porenradienverteilung*, Hg-Porosimetriemessung, FEAD GmbH, Potsdam, 2009.

ROSANA RATKOVČIĆ, *Prostor i ornament u srednjovjekovnom zidnom slikarstvu Istre*, magistarski rad, Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.

JAN RAUE, *Restauratorische und naturwissenschaftliche Untersuchung und Konservierung der mittelalterlichen Putze*

einer Brandenburgischen Feldsteinkirche, *Mittelalterliche Putze und Mörtel im Land Brandenburg*, Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege Arbeitsheft, 9. (1998.), 87-102.

ANNEROSE SEIDEL, *Die Apsisausmalung der Kirche in Warschau als Beispiel neoromanischer Kirchengrausmalung des frühen 20. Jahrhunderts - Bestands und Zustandserfassung, Konservierungskonzept*, diplomski rad, Fachhochschule Potsdam, Potsdam, 2005.

ROLF SNETHLAGE, *Leitfaden Steinkonservierung - Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein*, drugo, dopunjeno izdanje, Stuttgart, 2005.

JOCHEN STARK, BERND WICHT, *Zement und Kalk - Der Baustoff als Werkstoff*, Basel, 2000.

GIORGIO TORRACA, *Poröse Baustoffe - Eine Materialkunde für die Denkmalpflege*, Wien, 1986.

PETER VIERL, *Putz und Stuck - Herstellen, Restaurieren*, München, 1984.

## Abstract

**Bastian Hacker, Neva Pološki**

**THE RESEARCH INTO THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF MEDIEVAL PLASTER IN THE CHURCH OF ST. MARY AT THE POND WITH COMPARATIVE ANALYSES OF COMMERCIAL INJECTION MATERIALS**

The church of St. Mary at the Pond with a wall painting depicting *The Adoration of the Magi* is the most important art and cultural monument of the Istrian town of Gologorica. It is an east-facing church, approximately 7 m long and 5 m wide. Typologically, it belongs to a group of single-nave Romanesque churches with an inscribed apse. The wall painting, located on the north wall of the church interior (5m wide and ca. 2.2 m high), was discovered in the late 1950s by art historian Branko Fučić, who dated it to the turn of the 15<sup>th</sup> century. Around 1651, a major renovation of the church took place. The inscribed apse was removed and the floor level was raised with the building material obtained. Further alterations to the interior and exterior followed in the period between the 18<sup>th</sup> and the 20<sup>th</sup> century. The support for the multilayered plaster of the wall painting is rubble masonry made of lime sandstone, i.e. sand limestone. It is coated with a 1.5-cm-thick *arriccio* with a calcite-based aggregate, i.e. aggregate bound by calcite. The *arriccio* is covered with a 0.5-cm-thick layer of *intonaco* of almost identical composition. On top of it, various paint layers are applied over a toned lime wash. The paint layers are bound by lime that contains organic elements.

The fragmentarily preserved wall painting shows many damages: static cracks, cavities, structural damages of the plaster, damages of the paint layers, and in some portions, the original plaster is completely missing.

In 2008 and 2009 a systematic research of the wall painting was conducted in order to come up with an acceptable concept for conservation, while bearing in mind the damage to the painting which required a prompt implementation of protective measures. The research was part of Bastian Hacker's diploma thesis at the Potsdam University of Applied Sciences (Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Architektur und Städtebau, Studiengang Restaurierung). Special attention was paid to the laboratory analyses of the composition and properties of multilayered medieval plaster. In addition, an assessment was made of the most common commercial injection materials which were compared to the original plaster.

The discovery of fragments of the multilayered plaster without the paint layer beneath the present-day floor, enabled various laboratory investigations into its composition and properties. Since the content of components soluble in hydrochloric acid was high in the tested samples (90.89w% – 93.34w%), and these were interpreted as being lime binder, the results of the wet chemical analyses proved irrelevant. For this reason, it was impossible to give a more specific estimate of the binder and aggregate ratio or of the composition and shape of the aggregate. As a result, thin sections of the samples of the original *arriccio* layer were prepared, in which the binder and aggregate ratio was calculated by counting the presence of aggregate, pores and binder. Since the share of fine pores was disregarded in calculation, a very high binder con-

tent was obtained. However, by measuring the maximum water absorption capacity, the share of fine pores was obtained, which enabled the binder and aggregate ratio to finally be defined as 2 : 1. In addition, in the thin section, lime lumps were spotted in the binder, as well as aggregates of marble, limestone, calcite in the form of mineral and lime sandstone i.e. sand limestone. Measurement of the dynamic modulus of elasticity indicated a relatively low density of the *arriccio* plaster samples. The conclusion thereof could be made that the share of pores was large. To acquire more detailed information of the size and volume of pores in the *arriccio*, an analysis of the maximum water absorption capacity and the pore radius distribution was conducted. These parameters largely influence the properties of *arriccio* and therefore had to be considered in the making of replacement plaster. The share of maximum water absorption capacity was 35w%, little above the usual values for brick. A large share of pores smaller than 3µm was determined. Furthermore, imaging was done by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) that determined the presence of calcium, aluminium, magnesium, iron, potassium, silicon and niobium in the medieval plaster. Analyses of the plaster samples indicated that the components of multilayered plaster – joint mortar, *arriccio* and *intonaco* – are lime plasters in composition, with specific characteristics such as a high binder and fine pores content, and that they contain calcite-based aggregates, i.e. aggregates bound by calcite.

Given that the filling of cavities was assessed to be the protection priority, in addition to the fact that the treatment itself represents an irreversible intrusion into the core of the wall painting, it was important to choose an appropriate injection material. For that purpose, standardized samples of the most common injection grouts were prepared, whose static modulus of elasticity and biaxial flexural-tensile strength were compared to the values of the original *arriccio*. Values of these parameters of the injection grouts should be lower than those of the origi-

nal plaster. Three standardized samples of the medieval *arriccio* were tested alongside samples of the materials *KSE 500 STE-Modul-System*®, *CalXnova*®, *PLM-AL*®, *PLM-A*® and *Ledan*®. The injection materials mostly showed higher values of static modulus of elasticity than the medieval plaster. Lower values than those of the original plaster were found only in *CalXnova*® modified with hollow glass microspheres and *PLM-AL*® prepared according to the manufacturer's instructions. These materials were therefore used in the applying of protective measures on the wall painting.

In order to consolidate the particularly endangered portions of the wall painting, appropriate replacement plasters for *arriccio* and *intonaco* needed to be prepared. As replacement plasters must have properties similar to those of the original plaster, in order for their behavior to be similar, local slaked lime was used for their preparation, in addition to the calcite-based aggregates, i.e. aggregates bound by calcite: marble, calcite in the form of mineral and local stone from the church surroundings, i.e. lime sandstone. In order to obtain softer replacement plasters, the binder content was reduced to 1 (binder) : 2 (aggregate) for the *arriccio* and 1 : 3 for the *intonaco* plaster.

In one particularly endangered area of the wall painting, protection measures were applied in 2009. The consolidation consisted of the structural strengthening of the plaster, the filling of cavities and replacing the plaster layers with materials that were selected based on the results of research. By following the previously established methodology, the work in the church of St. Mary at the Pond has been under way since 2013, as part of practical training in conservation for students of the Department for Conservation and Restoration of Works of Art (OKIRU) of the Academy of Fine Arts (ALU), University of Zagreb.

**KEYWORDS:** *Gologorica, church of St. Mary at the Pond, wall painting, 14<sup>th</sup> / 15<sup>th</sup> c., lime plaster, calcite aggregate, cavities, injection materials*



